برش پانچینگ در دال‌های تخت و راهکار مناسب جهت جلوگیری از شکست برشی در دال‌ها

ارسطو ارمغانی، استادیار گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه
جواد عزتی*، دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه

*Ezzatijavad90@yahoo.com

چکیده

رفتار دال بتن مسلح در محل اتصال به ستون بتنی به دلیل احتمال ایجاد شکست برشی در این قسمت یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مهندسین در طراحی این اعضا می‌باشد. با وجود تحقیقات گسترده و بهبود چشمگیر استانداردهای مرتبط، نگرانی‌هایی در مورد ارزیابی سیستم‌های دال تخت وجود دارد. در این مقاله بررسی برش پانچینگ در دال‌های تخت مورد مطالعه قرار گرفته و سعی شده است با روش‌های مناسب از جمله استفاده از پهنه، گل‌میخ‌های فولادی با شکست برشی در محل اتصال به ستون مقابله گردد. لازم به ذکر است با روش اجزای محدود و در نرم‌افزار المان محدود Ansys این مطالعه انجام پذیرفته و در نهایت با ارائه نتایج شبیه‌سازی‌های عددی، تاثیر نتایج به دست آمده بررسی و ارزیابی شده است.

کلید واژگان : دال بتن مسلح، شکست برشی ، پهنه، گل‌میخ‌های فولادی، روش اجزای محدود

۱- مقدمه

سیستم دال تخت، یک سیستم سازه‌ای می‌باشد که در آن دال‌ها، مستقیماً بر روی ستون‌ها قرار می‌گیرند. این سیستم سازه‌ای به طور گسترده در آپارتمان‌ها، پارکینگ‌ها و ساختمان‌های اداری می‌تواند به کار گرفته شود. مزایای این سیستم‌ها، سبکی و سهولت در روش ساخت آن می‌باشد. در اکثر مواقع هنگام ساخت، دال‌ها به صورت بتن ریزی در جا و با اتصالات یکپارچه بین دال‌ها و ستون‌ها اجرا می‌گردد. دیگر مزیت این سیستم، کاهش ارتفاع ساختمان به علت عدم وجود مقطع تیر در دال می‌باشد که منجر می‌شود، فضای قابل استفاده بیشتری در یک طبقه به وجود آید.

یکی از بزرگ‌ترین معایب این سیستم وقوع برش پانچینگ به صورت موضعی در بر ستون به دلیل تمرکز تنش بالای برشی و خمشی می‌باشد. این موضوع به ویژه به هنگام وقوع زلزله بزرگ‌ترین چالش در فرایند طراحی دال تخت می‌باشد [۱]. شکست‌های متعددی ناشی از وقوع برش پانچینگ در زلزله ۱۹۸۵ در Mexico City توسط Ghali و Megally (2000) گزارش گردیده است[۲،۳].

عواملی از جمله مقاومت بتن، نسبت ابعاد ستون، شکل ستون و وجود آرماتور در وجه پایینی اتصال بر ماهیت رفتاری اتصال تاثیر گذار است [۴]. گاه بنا به دلایلی از جمله تغییر کاربری، ضعف در طراحی و یا سایر دلایل، لزوم تقویت اتصال دال‌ها مطرح می‌شود [۵]. برای تقویت اتصال دال به ستون، مدت‌ها از تقویت کننده‌های فلزی استفاده می‌شد و هنوز هم تحقیقاتی بر روی تقویت فلزی دال‌ها صورت می‌گیرد. ولی بنا به دلایلی از جمله خوردگی، سختی اجرا، وزن زیاد و عدم انعطاف پذیری مناسب، تقویت با صفحات فلزی با مشکلاتی روبرو می‌باشد [۶]. در سال ۱۹۹۵ Maalouf و همکاران بر روی ۱۲ نمونه

دال بتنی الیافی (FRC) به منظور بررسی تاثیر الیاف بر مقاومت برشی پانچینگ در اتصالات دال به ستون انجام دادند. در این مطالعه نوع الیاف، درصد الیاف و همچنین نسبت طول به دهانه دال بررسی گردید [۷]. در سال ۲۰۱۱، مطالعه آزمایشگاهی به منظور بررسی برش پانچینگ در دال‌های بتن آرمه پیش تنیده توسط Regan و همکارانش انجام یافت [۸]. در سال ۲۰۱۰، Kim و همکارانش تاثیر افزودن الیاف فولادی به بتن، در مقاومت پانچینگ دال‌های تخت را مورد بررسی قرار دادند. در این آزمایشات، رفتار و ظرفیت بتن مسلح با الیاف فولادی (SFRC) در دال‌های تخت تحت نیروی برشی پانچینگ مورد مطالعه قرار گرفت [۹].

۲- تقویت برشی دال‌های تخت

در دال‌های بدون تیر، گاه برش دو طرفه تحت بارهای با ضریب در پیرامون ستون، از ظرفیت برشی بتن در مقطع بحرانی برش منگنه‌ای بیشتر بوده و شرط $v_u \leq \phi v_c$ برقرار نیست. در این حالت ظرفیت برشی مقطع را به یکی از روش‌های زیر می‌توان افزایش داد:

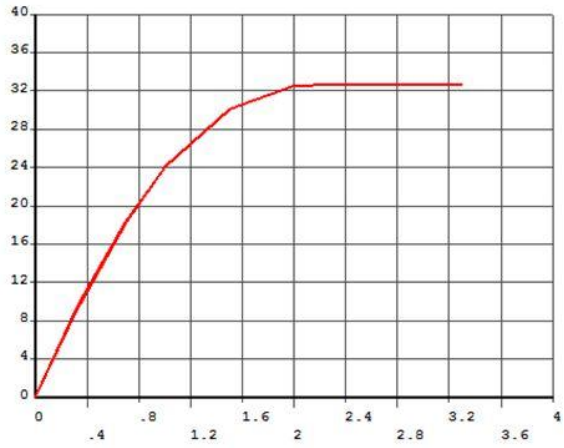
افزایش ضخامت دال در همه جا، افزایش ضخامت دال در اطراف ستون به کمک پهنه، افزایش محیط مقطع بحرانی برش منگنه‌ای b_0، افزایش ابعاد ستون و یا با استفاده از سر ستون، استفاده از بتن با مقاومت فشاری بیشتر و همچنین استفاده از فولاد برشی در اطراف ستون.

۳- مدلسازی عناصر محدود

نرم افزار مورد استفاده در مطالعه پارامتریک عددی حاضر ANSYS 11.0 می‌باشد، به منظور مدل کردن مقاطع بتنی دال و ستون از المان حجمی SOLID 65 استفاده گردید. این المان دارای هشت گره بوده و در هر گره دارای سه درجه آزادی انتقالی می‌باشد و در مطالعات پارامتریک معتبر در اتصالات مشابه به کار رفته و نتایج دقیقی برای آن گزارش گردیده است [۱۰]. همچنین برای مدلسازی میلگرد از المان خطی LINK 8 استفاده شده است.

٤- معیار تسلیم مورد استفاده برای مصالح

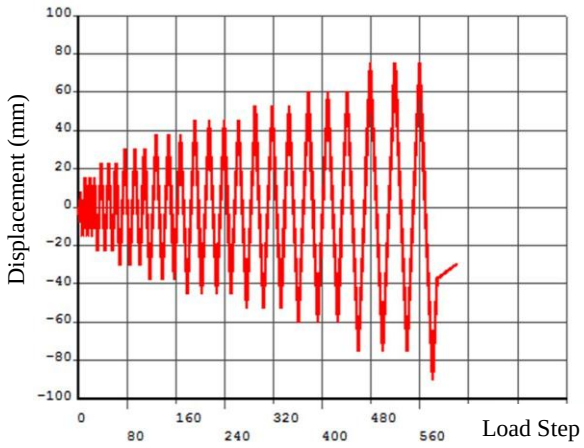
برای در نظر گرفتن رفتار خمیری فولاد و بتن تحت تنش‌های مرکب، از معیار تسلیم Von-mises استفاده شده است. برای مدلسازی آرماتور خاموت‌ها از فولاد با تنش تسلیم ۳۶۳ مگاپاسکال و تنش نهایی ۵۷۱ مگاپاسکال و برای مدلسازی آرماتورهای طولی از فولاد با تنش تسلیم ۵۳۸ مگاپاسکال و تنش نهایی ۶۷۷ مگاپاسکال استفاده گردیده است. همچنین در شکل (۱) نمودار تنش- کرنش بتن نشان داده شده است.



شکل ۱ – نمودار تنش- کرنش بتن

۵- نحوه اعمال بارگذاری چرخه‌ای

در مطالعه حاضر، بر دو انتهای ستون بارگذاری رفت و برگشتی به شکل کنترل تغییر مکان، اعمال شد. اعمال بار چرخه‌ای باید آرام و بدون انقطاع صورت گیرد و سرعت اعمال تغییر شکل اهمیت ندارد. در این روش وقتی که تغییر مکان انتهای تیر به مقدار مشخصی رسید جهت اعمال بار معکوس می شود و یک چرخه بارگذاری پایان می یابد. در شکل (۲)، جزئیات بارگذاری آورده شده است.



شکل ۲- بارگذاری چرخه‌ای در انتهای ستون

٦- مطالعات پارامتریک

دال بتنی مربعی با ابعاد ۴ × ۴ متر و ضخامت ۲۰ سانتی متر، ستون میانی به ارتفاع ۴ متر و مقطع مربعی به ابعاد ۴۰ ×۴۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است دال بتنی بر روی چهار امتداد دارای تکیه گاه مفصلی می‌باشد. به منظور بررسی عددی رفتار دال‌های بتنی در محل اتصال به ستون جهت دستیابی به راهکارهایی موثر برای

تقویت و کاهش نقاط ضعف سیستم، چهار نوع مدل دال تخت با تقویت‌های برشی مختلف مطابق مدل‌های زیر در نظر گرفته شد:

مدل اول: دال تخت فاقد پهنه و آرماتور برشی؛

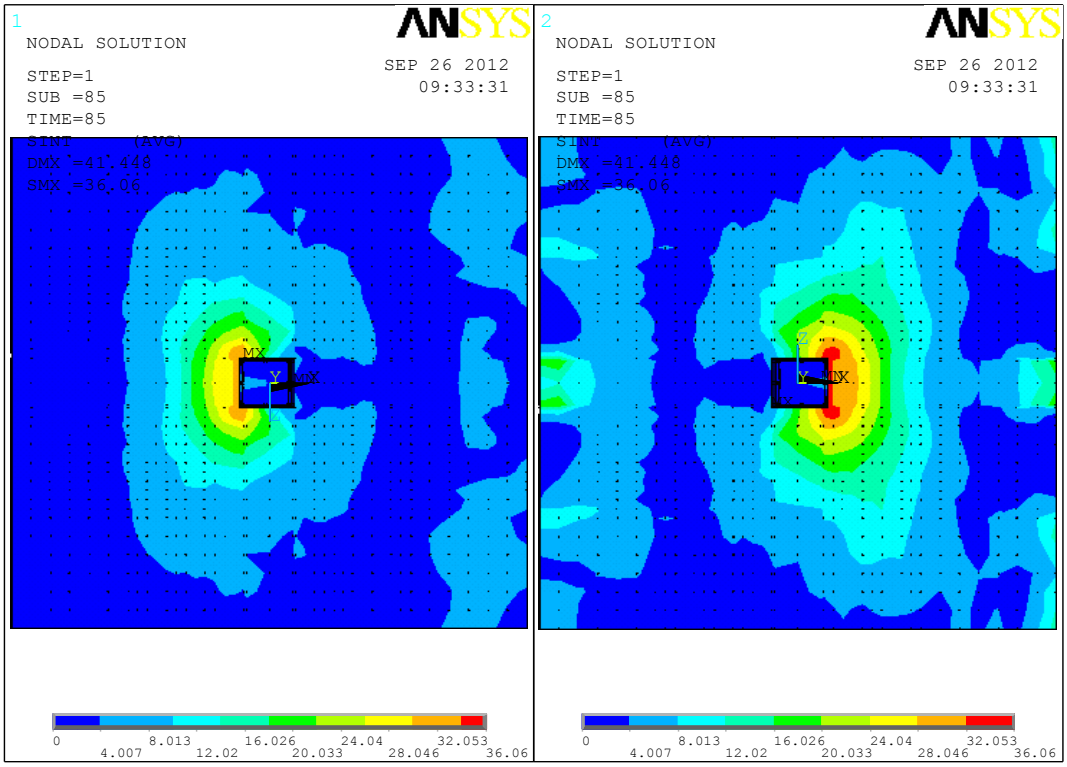
مدل دوم: دال تخت به همراه پهنه؛

مدل سوم: دال تخت به همراه نسبت آرماتور خمشی دو برابر؛

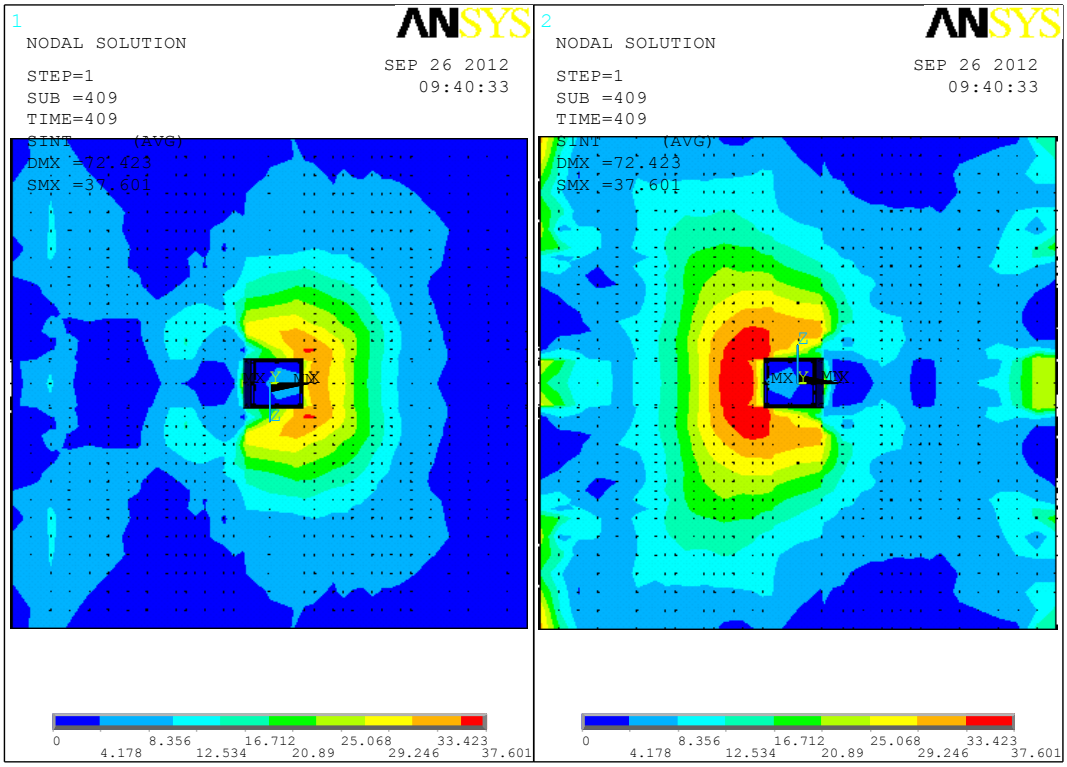
مدل چهارم: دال تخت به همراه پهنه و گل میخ فولادی؛

۶-۱ نتایج به‌دست آمده از تحلیل مدل اول

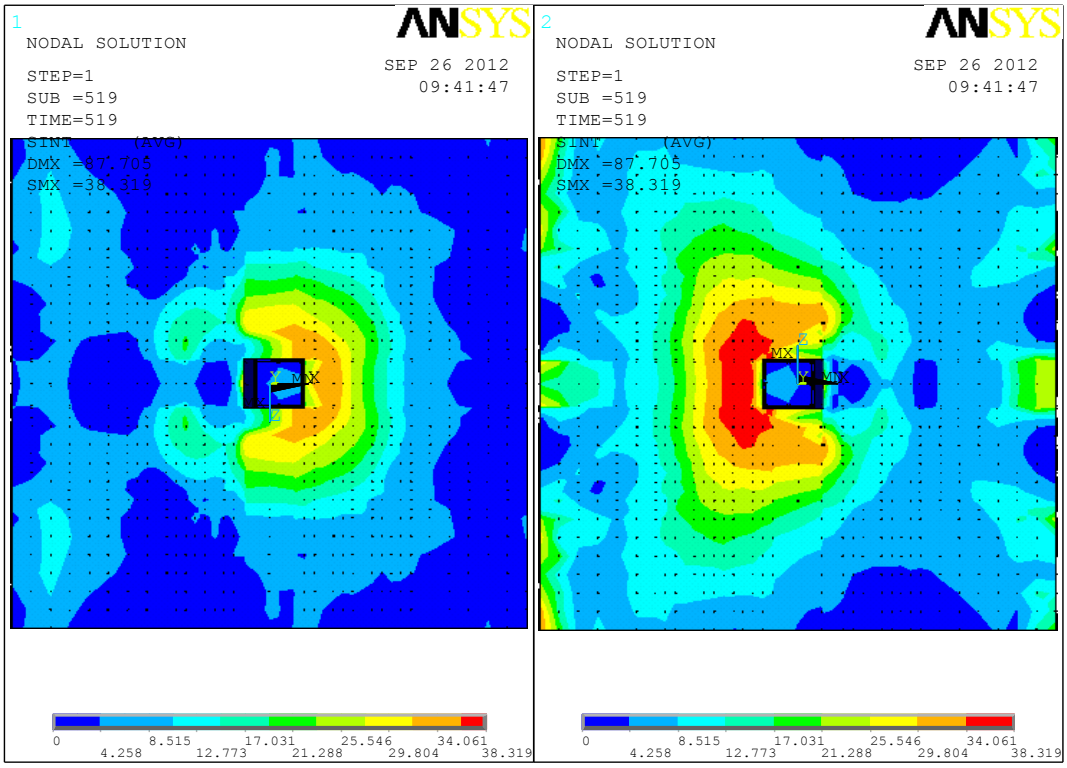
در اشکال ۳ الی ۵ کانتور تنش در قسمت فوقانی و تحتانی دال مدل اول در برخی از گام‌های بارگذاری آورده شده است.



شکل ۳-کانتور تنش در گام ۷۷ بارگذاری و در تغییر مکان مطلق ۶۰ میلی متر



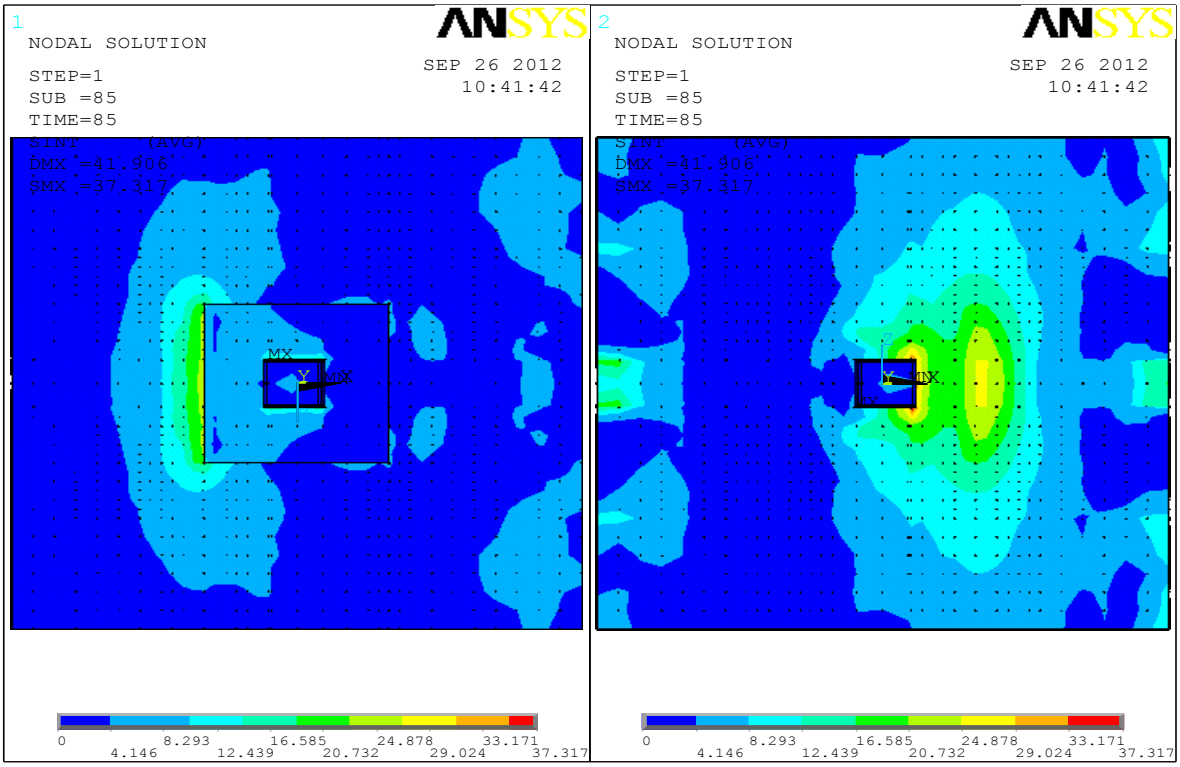
شکل ۴- کانتور تنش در گام ۳۹۳ بارگذاری و در تغییر مکان مطلق ۱۲۰ میلی متر



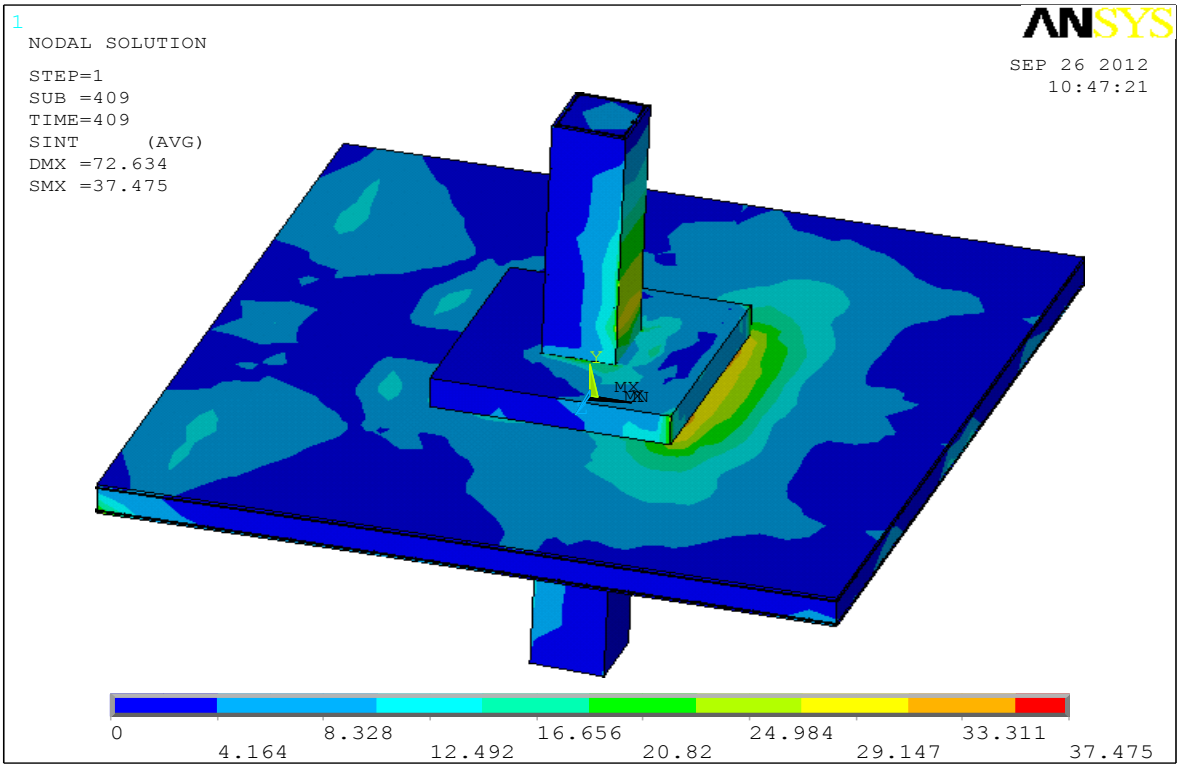
شکل ۵- کانتور تنش در گام ۴۹۸ بارگذاری و در تغییر مکان مطلق ۱۳۵ میلی متر

۶-۲ نتایج به‌دست آمده از تحلیل مدل دوم

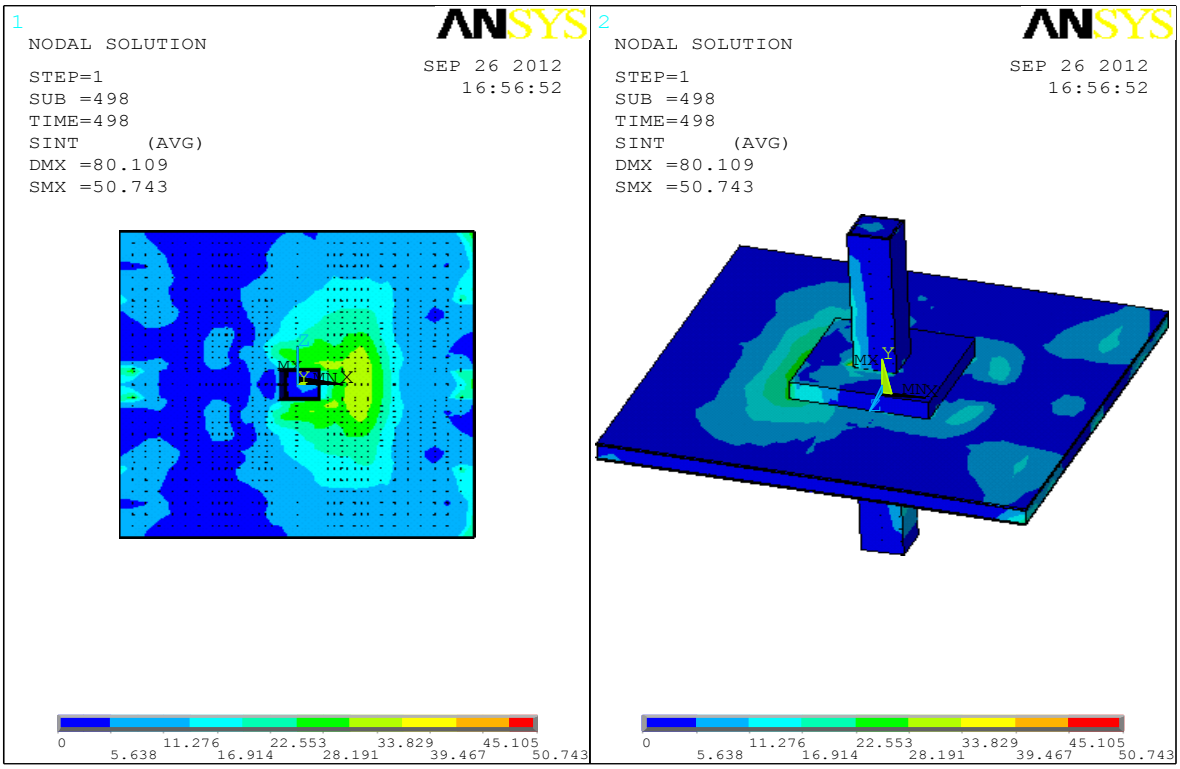
در اشکال (۶) الی (۸)، کانتور تنش در قسمت فوقانی و تحتانی دال مدل دوم در برخی از گام‌های آورده شده است.



شکل ۶- کانتور تنش در گام ۷۷ بارگذاری و در تغییر مکان مطلق ۶۰ میلی متر



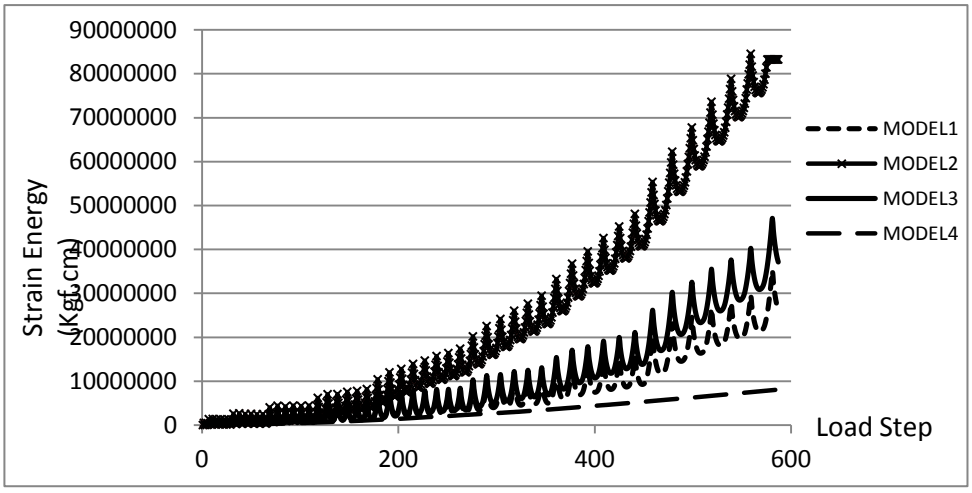
شکل ۷- کانتور تنش در گام ۳۹۳ بارگذاری و در تغییر مکان مطلق ۱۲۰ میلی متر



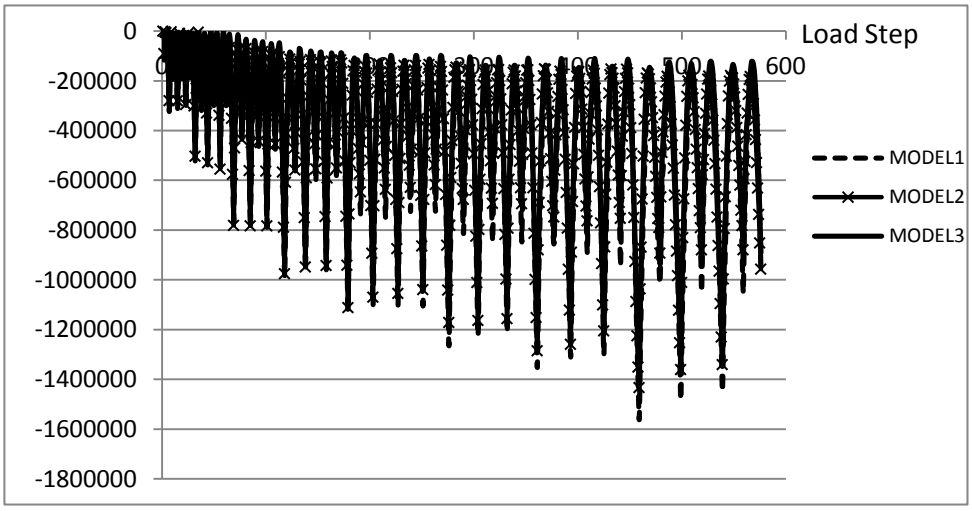
شکل ۸- کانتور تنش در گام ۴۹۸ بارگذاری و در تغییر مکان مطلق ۱۳۵ میلی متر

٦-۳- مقایسه نتایج

در این قسمت از مطالعه به مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل‌ها پرداخته می‌شود. برای این منظور میزان جذب انرژی مدل‌های تقویت شده نسبت به مدل اول سنجیده می‌شود. در اشکال (۹) و (۱۰) نمودار انرژی کرنشی و برش پایه تمامی مدل‌ها آورده شده است. ملاحظه می‌شود که نمونه اول که فاقد هیچ گونه تقویت برشی بود دارای انرژی کرنشی کمتری نسبت به نمونه‌های دوم و سوم می‌باشد و بالعکس، این نمونه بیشترین برش پایه را نسبت به این دو نمونه داشته است. در مدل چهارم به علت استفاده از سر ستون و گل میخ‌های فولادی در تمام جهات، دال از صلبیت خیلی بالایی برخوردار بوده و تغییر شکل‌های بسیار کمتری تحت بارگذاری از خود نشان داده است. با مقایسه کانتور تنش تسلیم در اشکال (۳) و (۶) که مربوط به مدل‌های اول و دوم که به ترتیب دال بدون پهنه و دال به همراه پهنه می‌باشند، مشاهده می‌گردد که در مدل دوم وجود پهنه باعث انتقال تمرکز تنش از محل اتصال ستون به دال، به بر پهنه می‌گردد.



شکل ۹- نمودار انرژی کرنشی تمامی مدل‌ها



شکل ۱۰ – نمودار برش پایه تمامی مدل‌ها

۷ – نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی برش پانچینگ در دال‌های تخت با استفاده از روش‌های مناسبی از جمله استفاده از پهنه، گل‌میخ‌های فولادی پرداخته شده است که با توجه به مطالب ارائه شده می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که وجود پهنه باعث افزایش انرژی کرنشی در دال می‌گردد که ناشی از تغییر شکل کلی در تمام قسمت‌های دال می‌باشد. در حالی که در نمونه بدون پهنه تغییر شکل دال محدود به محل اتصال ستون به دال شده و باعث کاهش انرژی کرنشی نمونه می‌گردد. این امر باعث تمرکز ستون در بر ستون می‌شود که منجر به وقوع برش پانچینگ در دال می‌گردد.

مراجع:

1- Meneterey Ph. Synthesi s of Punching Failure in Reinforced Concrete. Cement & Concrete Compositte; (24): 497-507, 2002
2- Park R, Gamble W. Reinforced Concrete Slabs. 2nd edition, John Wiley & sons, New York, 2000.
3- Harajli M.H, Soudki, K.A. Shear Strengthening of Interior Slab – Column Connections Using Fiber-Reinforced Polymer Sheets. Journal of Composites for Construction, ASCE; 7(2): 145-153, 2003.
4- Park, R. and Gamble, W., 2000, "Reinforced Concrete Slabs", 2nd edition, John Wiley & Sons, New York
5- Harajli, M.H., and Soudki, K.A., 2003, "Shear Strengthening of Interior Slab – Column Connections Using Fiber-Reinforced Polymer Sheets," Journal of Composites for Construction, ASCE, Vol 7, No 2, pp 145-153.
6- Sheikh, S. A., DeRose, D. and Mardukhi, J., 2002, "Retrofitting of Concrete
7- Maalouf, D., Harajli, M.H., and Khatib, H., 1995, "Effect of Fibers on the Punching Shear Strength of Slab-Column Connections", Cement & Concrete Composites, No 17, PP 161- I70.
8- Regan, P.E., Carvalho, A.L., Melo, G.S. and Gomes, R.B., 2011, "Punching Shear in Post-Tensioned Flat Slabs with Stud Rail Shear Reinforcement", ACI Structural Journal, PP 108-S49.
9- Kim, K., Minh, L. and Rovnak, M., 2010, "Punching Shear Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete Flat Slabs", Institute of Technical and Technological Safety, University of Security Management, Slovakia
10- Canonsburg PA. ANSYS Structural Analysis Guide, Release 11.0. SAS. IP, Inc, 2009.

Punching Shear in Fat Slabs and Suitable Methods to Prevent Shear Failure in Slabs

J. Ezzati
Structural Engineer, Islamic Azad University, maragheh, Iran

A. Armaghani
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

ABSTRACT

In the design of flat plate structures, special attention must be paid to the connection between the slab and the supporting columns. Despite extensive studies and improvement of codes in this subject, also there are problems about evaluation of flat slab systems. In this paper punching shear in flat RC slabs is evaluated. Therefore the connections are retrofitted against punching shear, such as studs and column head. It is noted that parametric study is provided by ANSYS software. Finally results of Finite Element Method are evaluated.

Keywords: Reinforced flat slab, Punching shear, Column head, Stud, Finite element method.